

Centre for Quantum Information and Communication<http://quic.ulb.ac.be>**Sujets des Mémoires de Fin d'Etudes pour l'année académique 2010-11**

Contact général : Prof. Nicolas Cerf (local UA3.217, tél.: 2858, ncerf@ulb.ac.be)

Thème général : Sciences de l'Information Quantique

1. Rôle de l'intrication quantique dans la mesure optimale des états quantiques « comprimés » de la lumière.

Promoteurs : N. Cerf, E. Karpov (ekarpov@ulb.ac.be)

Etudiants concernés : Ir. civil physiciens

En théorie de l'information quantique, l'un des problèmes importants concerne l'information qu'il est possible d'extraire de la mesure d'un système quantique. La mesure quantique représente un problème nettement plus compliqué, d'un point de vue opérationnel comme d'un point de vue conceptuel, que la mesure en physique classique. On sait notamment que la mesure de plusieurs systèmes quantiques à deux niveaux (appelés bits quantiques ou « qubits ») peut fournir plus d'information si l'on permet une opération « jointe » au lieu d'une mesure individuelle de chaque système suivie d'un traitement classique statistique des résultats de mesure. En particulier, l'intrication quantique (corrélations intrinsèquement quantiques que peuvent exhiber des systèmes quantiques et qui n'a pas d'interprétation classique) joue un rôle dans ce contexte, et permet d'augmenter l'information extraite d'une mesure même si les systèmes mesurés ne sont initialement pas corrélés.

L'objectif de ce mémoire sera d'envisager la mesure de plusieurs états quantiques dits « comprimés » de phase de la lumière, afin de déterminer si l'intrication quantique peut être exploitée dans le contexte, comme c'est le cas pour des « bits quantiques ». Un cas d'étude intéressant serait de considérer une paire d'états comprimés conjugués en phase. Les états comprimés de la lumière sont aujourd'hui accessibles en laboratoire, ce qui permettrait d'envisager (au-delà de ce mémoire) la vérification expérimentale de l'effet qui serait éventuellement mis en évidence.

2. Influence de l'environnement sur la téléportation quantique.

Promoteurs : N. Cerf, D. Daems (ddaems@ulb.ac.be)

Etudiants concernés : Ir. civil physiciens

La téléportation quantique est une technique permettant de transmettre à distance l'état d'un système quantique (ou, plus précisément, l'information quantique contenue dans cet état) grâce à la transmission de bits d'information classique, et ceci même en l'absence d'un canal de communication quantique disponible au moment de la téléportation. Elle est basée sur la propriété d'intrication quantique, qui constitue une forme de corrélation purement quantique qui n'a pas d'analogie classique. Il a été montré récemment que l'interaction avec un environnement peut, sous certaines conditions, augmenter la « fidélité » de la téléportation quantique. Ce résultat est surprenant dans la mesure où, en général, le bruit dégrade l'intrication quantique, qui est une propriété très « fragile » liée à la cohérence quantique.

L'objectif de ce mémoire est tout d'abord de mieux comprendre ces résultats à la lumière des travaux qui ont été récemment effectués au QuIC au sujet de la capacité des canaux quantiques, en particulier les canaux non unitaux. Ensuite, cette analyse devrait permettre de généraliser cet effet bénéfique du bruit, et de dresser un parallèle avec d'autres processus dont l'efficacité est améliorée suite à l'addition de bruit.

3. Etude d'invariants de l'intrication quantique « hybride »

Promoteurs : N. Cerf, K. Mandilara (mandkat@gmail.com)

Etudiants concernés : Ir. civil physiciens

L'intrication quantique est un phénomène intrinsèque à la mécanique quantique, qui n'a pas d'explication dans le cadre d'une théorie classique de la physique. Il s'agit d'une forme particulière (non locale) de corrélation statistique entre des systèmes qui dépasse toute forme de corrélation permise dans le cadre de la théorie classique des probabilités. Cette corrélation quantique revêt une importance particulière dans le cadre de la théorie de l'information quantique car elle s'avère une ressource indispensable à la plupart des processus informationnels quantiques (algorithmes quantiques, téléportation quantique, etc.) Un des problèmes fondamentaux des sciences de l'information quantique consiste donc à tenter de quantifier la quantité d'intrication disponible dans un état quantique donné. Une réponse possible à ce problème consiste à identifier des invariants, c'est-à-dire des paramètres qui mesurent l'intrication et ne varient pas sous l'effet de transformations locales.

L'objectif de ce mémoire est d'analyser l'intrication quantique dite « hybride », c'est-à-dire l'intrication pouvant exister entre un système discret comme un bit quantique (système à deux niveaux) et un système continu comme un mode du champ électromagnétique (oscillateur harmonique). L'intrication a fait l'objet de très nombreuses études pour le cas des bits quantiques, par exemple, ou pour les états Gaussiens du champ électromagnétique, mais il n'y par contre presque pas d'études du cas « hybride ». Celui-ci correspond pourtant à des situations tout à fait réalistes dans des expériences actuelles, comme un atome à deux niveaux placé dans une cavité optique, ce qui motive le travail de recherche proposé.

4. Capacité de canaux quantiques multimodaux

Promoteurs : N. Cerf, E. Karpov (ekarpov@ulb.ac.be),
et J. Schaefer (joschaef@ulb.ac.be)

Etudiants concernés : Ir. civil physiciens

Dans la théorie de l'information quantique, l'analyse de la capacité des canaux de communication quantique est l'un des sujets d'étude majeurs, tout comme c'est le cas dans la théorie de Shannon pour les canaux dits classiques. La quasi-totalité des travaux concernant les canaux de communication quantique concernent le cas d'un canal à un mode, le plus fréquent étant le canal bosonique (p.ex. photonique) gaussien. Cependant, si l'on veut prendre en compte l'aspect temporel, fréquentiel, ou spatial, il est indispensable de pouvoir traiter le cas multimodal, où le bruit entre les modes est *a priori* corrélé.

L'objectif de ce mémoire sera d'explorer cette nouvelle voie de recherche, dans la suite des travaux effectués récemment au QuIC. Le point de départ sera l'analyse de la capacité d'une collection de canaux bosoniques gaussiens soumis à une contrainte d'énergie commune (la variance de modulation étant exprimée en nombre de photons thermiques, et donc, en définitive, comme une énergie). Ensuite, l'optimalité de la capacité par rapport à divers paramètres décrivant le bruit de canal pourra être traitée. Une extension naturelle concernerait les canaux bosoniques gaussiens à bande finie.

5. Protocole quantique de partage d'une image secrète

Promoteurs : N. Cerf, D. Daems (ddaems@ulb.ac.be)

Etudiants concernés : Ir. civil physiciens

Un richissime ingénieur physicien souhaite transmettre la combinaison de son coffre à ses trois fils. Etant de nature méfiante, au lieu de donner la combinaison à chacun de ses fils, il souhaite distribuer l'information de manière à ce qu'aucun d'eux n'ait,

seul, la moindre information sur la combinaison alors qu'à deux, n'importe quelle paire peut déterminer la combinaison. Cette tâche peut être accomplie à l'aide d'un protocole classique dit de « partage de secret ». La physique quantique permet, en outre, de réaliser un tel protocole sans n'utiliser aucune hypothèse calculatoire, et de rendre dès lors le partage de secret inconditionnellement sûr. Malheureusement pour les fils, l'image de l'arbre sous lequel se trouve le coffre est également secrète, et, comme il n'existe pas à ce jour de protocole quantique de partage d'image, leur père ne leur révèle pas cette image.

L'objectif de ce mémoire est de généraliser les protocoles quantiques de partage de secrets au partage d'images. Le contexte de ce mémoire est à la frontière avec le domaine de l'imagerie quantique, dans lequel on prend en compte le degré de liberté spatial du champ électromagnétique quantifié.

6. Etude des états invariants par permutation de bits quantiques grâce à la représentation de Majorana

Promoteurs : N. Cerf, L. Arnaud (ludox09@gmail.com)

Etudiants concernés : Ir. civil physiciens

L'information quantique est basée sur l'idée qu'il est possible de construire des bits quantiques (qubits) pouvant être manipulés de manière "cohérente", c'est-à-dire en conservant leurs propriétés purement quantiques qui les différencient des bits classiques. Ces propriétés, telle l'intrication quantique, font l'objet de nombreuses études car elles semblent être à l'origine, par exemple, de la rapidité connue des algorithmes quantiques. La difficulté de ce genre d'étude réside dans l'incroyable richesse qu'offre l'espace des états d'un système de n qubits, dont la taille croît exponentiellement en n . L'une des approches possibles est alors de ne considérer que certaines classes d'états de n qubits.

L'objectif de ce mémoire est de s'intéresser à la classe particulière des états de n qubits qui sont invariants par la permutation de plusieurs qubits entre eux. Bien qu'étant un sous-ensemble des états accessibles par un système de n qubits, on peut montrer que ces états restent « typiquement » quantiques. Leur intérêt réside dans leurs propriétés mathématiques très intéressantes. En particulier, le but du mémoire sera d'utiliser la représentation de Majorana de ces états pour obtenir numériquement et peut-être analytiquement des résultats sur certaines propriétés comme l'entropie de sous-ensembles de qubits. Un autre objectif du mémoire pourrait être aussi d'étendre ces résultats à des systèmes de qubits dont seules certaines parties (sous-ensembles) restent invariantes par permutation.